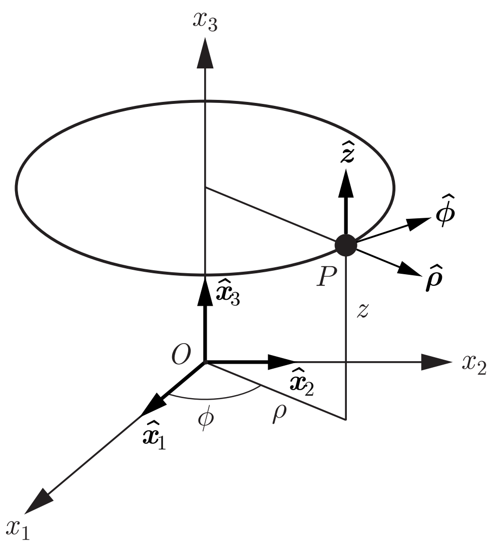
Point matériel

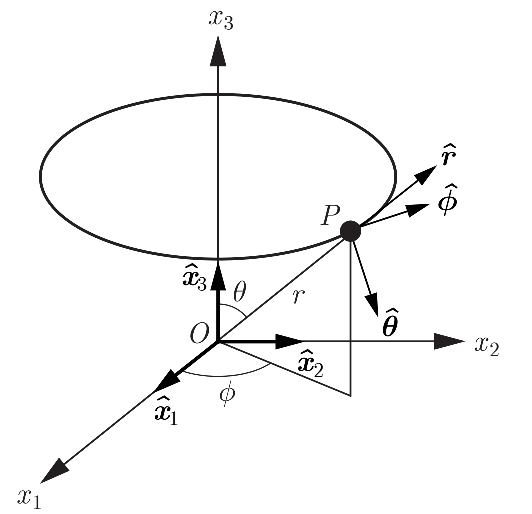
Coordonnées cylindriques :



$$\hat{\boldsymbol{\rho}} = \boldsymbol{e_\rho} \quad \hat{\boldsymbol{\phi}} = \boldsymbol{e_\phi}$$

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{r} &= \rho\,\boldsymbol{e_\rho} + z\,\hat{\boldsymbol{z}} \\
\boldsymbol{v} &= \dot{\rho}\,\boldsymbol{e_\rho} + \rho\dot{\phi}\,\boldsymbol{e_\phi} + \dot{z}\,\hat{\boldsymbol{z}} \\
\boldsymbol{a} &= \left(\ddot{\rho} - \rho\dot{\phi}^2\right)\boldsymbol{e_\rho} + \left(\rho\ddot{\phi} + 2\dot{\rho}\dot{\phi}\right)\boldsymbol{e_\phi} \\
&\quad + \ddot{z}\,\hat{\boldsymbol{z}}
\end{aligned}$$

Coordonnées sphériques :



$$\hat{\boldsymbol{r}} = \boldsymbol{e_r} \qquad \hat{\boldsymbol{\theta}} = \boldsymbol{e_\theta} \qquad \hat{\boldsymbol{\phi}} = \boldsymbol{e_\phi}$$

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{r} &= r\,\boldsymbol{e_r} \\
\boldsymbol{v} &= \dot{r}\,\boldsymbol{e_r} + r\dot{\theta}\,\boldsymbol{e_\theta} + r\dot{\phi}\sin\theta\,\boldsymbol{e_\phi} \\
\boldsymbol{a} &= \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2 - r\dot{\phi}^2\sin^2\theta\right)\boldsymbol{e_r} \\
&\quad + \left(r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} - r\dot{\phi}^2\sin\theta\cos\theta\right)\boldsymbol{e_\theta} \\
&\quad + \left(r\ddot{\phi}\sin\theta + 2\dot{r}\dot{\phi}\sin\theta + 2r\dot{\theta}\dot{\phi}\cos\theta\right)\,\boldsymbol{e_\phi}
\end{aligned}$$

Mouvement relatif, changement de référentiel :

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{v}_a(P) &= \boldsymbol{v}_a(A) + \boldsymbol{v}_r(P) + \boldsymbol{\Omega}\wedge\boldsymbol{AP} \\
\left.\frac{d}{dt}\right|_{\mathcal{R}}\boldsymbol{OP} &= \left.\frac{d}{dt}\right|_{\mathcal{R}}\boldsymbol{OO'} + \left.\frac{d}{dt}\right|_{\mathcal{R}'}\boldsymbol{O'P} + \boldsymbol{\Omega}\wedge\boldsymbol{O'P}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{a}_a(P) &= \boldsymbol{a}_a(A) + \boldsymbol{a}_r(P) + \boldsymbol{\Omega}\wedge(\boldsymbol{\Omega}\wedge\boldsymbol{AP}) + 2\,\boldsymbol{\Omega}\wedge\boldsymbol{v}_r(P) + \dot{\boldsymbol{\Omega}}\wedge\boldsymbol{AP} \\
\left.\frac{d^2}{dt^2}\right|_{\mathcal{R}}\boldsymbol{OP} &= \left.\frac{d^2}{dt^2}\right|_{\mathcal{R}}\boldsymbol{OO'} + \left.\frac{d^2}{dt^2}\right|_{\mathcal{R}'}\boldsymbol{O'P} + \boldsymbol{\Omega}\wedge(\boldsymbol{\Omega}\wedge\boldsymbol{O'O}) + 2\boldsymbol{\Omega}\wedge\left.\frac{d}{dt}\right|_{\mathcal{R}'}\boldsymbol{O'P} + \dot{\boldsymbol{\Omega}}\wedge\boldsymbol{O'P}
\end{aligned}$$

Formules de Poisson :

$$\dot{\hat{\boldsymbol{u}}} = \boldsymbol{\Omega} \wedge \hat{\boldsymbol{u}} \qquad \text{où} \qquad \hat{\boldsymbol{u}} \ \text{ est un vecteur unitaire quelconque}$$

Solide indéformable

Cinématique :

$$\begin{aligned} \boldsymbol{V}_Q &= \boldsymbol{V}_P + \boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{PQ} \\ \boldsymbol{A}_Q &= \boldsymbol{A}_P + \boldsymbol{\Omega} \wedge (\boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{PQ}) + \dot{\boldsymbol{\Omega}} \wedge \boldsymbol{PQ} \end{aligned}$$

Théorèmes de transfert du moment de force :

$$\boldsymbol{M}_B = \boldsymbol{M}_A + \boldsymbol{BA} \wedge \boldsymbol{R}$$

Théorème de transfert du moment cinétique :

$$\boldsymbol{L}_B = \boldsymbol{L}_A + \boldsymbol{BA} \wedge M\boldsymbol{v}_G$$

Théorème du moment cinétique :

$$\sum \boldsymbol{M}_O^{\text{ext}} = \dot{\boldsymbol{L}}_O \,, \qquad \sum \boldsymbol{M}_G^{\text{ext}} = \dot{\boldsymbol{L}}_G \,, \qquad \sum \boldsymbol{M}_C^{\text{ext}} = \dot{\boldsymbol{L}}_C \,, \qquad \sum \boldsymbol{M}_P^{\text{ext}} = \dot{\boldsymbol{L}}_P + \boldsymbol{V}_P \wedge M\,\boldsymbol{V}_G$$

Moment cinétique et moments d'inertie :

Si diagonal :

$$\boldsymbol{L}_G = \mathsf{I}_G\,\boldsymbol{\Omega} = \sum_{i=1}^{3} I_{G,i}\,\Omega_i\,\hat{\boldsymbol{e}}_i = I_{G,1}\,\Omega_1\,\hat{\boldsymbol{e}}_1 + I_{G,2}\,\Omega_2\,\hat{\boldsymbol{e}}_2 + I_{G,3}\,\Omega_3\,\hat{\boldsymbol{e}}_3 \qquad \text{où} \qquad I_{G,i} = \sum_{\alpha} m_\alpha\, r_{\alpha,i}^2$$

Si non diagonal :

$$\boldsymbol{L}_G = \left[\sum m_\alpha \begin{pmatrix} y_i^2 + z_i^2 & -x_i y_i & -x_i z_i \\ -x_i y_i & x_i^2 + z_i^2 & -y_i z_i \\ -x_i z_i & -y_i z_i & x_i^2 + y_i^2 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} \Omega_x \\ \Omega_y \\ \Omega_z \end{pmatrix}$$

Point A quelconque :

$$\boldsymbol{L}_A = \mathsf{I}_A \omega + \boldsymbol{AG} \wedge M\boldsymbol{V}_A$$

Théorème de Huygens-Steiner :

$$I_{A,i} = I_{G,i} + M\,d^2 \qquad \mathsf{I}_\mathsf{A} = \mathsf{I}_\mathsf{G} + M\,(\mathbf{AG})\,(\mathbf{AG})^T = \mathsf{I}_\mathsf{G} + M \begin{pmatrix} \gamma_y^2+\gamma_z^2 & -\gamma_x\,\gamma_y & -\gamma_x\,\gamma_z \\ -\gamma_x\,\gamma_y & \gamma_x^2+\gamma_z^2 & -\gamma_y\,\gamma_z \\ -\gamma_x\,\gamma_z & -\gamma_y\,\gamma_z & \gamma_x^2+\gamma_y^2 \end{pmatrix}$$

avec $\boldsymbol{AG} = \gamma_x \hat{x}''' + \gamma_y \hat{y}''' + \gamma_z \hat{z}'''$ exprimé dans le repère lié au solide.

Quantité de mouvement et énergie cinétique :

$$\boldsymbol{p} = M\,\boldsymbol{V}_G\;, \qquad T = \frac{1}{2}\,M\,\boldsymbol{V}_G^2 + \frac{1}{2}\left(I_{G,1}\,\Omega_1^2 + I_{G,2}\,\Omega_2^2 + I_{G,3}\,\Omega_3^2\right)$$

$$\begin{aligned} \boldsymbol{p} &= M\,\boldsymbol{V}_G \\ T &= \frac{1}{2} M \boldsymbol{V}_G \bullet \boldsymbol{V}_G + \frac{1}{2}\boldsymbol{\Omega} \bullet \mathsf{I}_G \boldsymbol{\Omega} \\ &= \frac{1}{2} M \boldsymbol{V}_A \bullet \boldsymbol{V}_A + M \boldsymbol{V}_A \bullet (\boldsymbol{\Omega} \wedge \boldsymbol{AG}) + \frac{1}{2}\boldsymbol{\Omega} \bullet \mathsf{I}_A \boldsymbol{\Omega} \\ &= \frac{1}{2}\boldsymbol{\Omega} \bullet \mathsf{I}_O \boldsymbol{\Omega} \end{aligned}$$

Théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta T_{1\to 2} = \sum_\alpha W_{1\to 2}\left(\boldsymbol{F}_\alpha^{\text{ext}}\right) = \sum_\alpha \int_{\mathcal{C}_{1\to 2}} \boldsymbol{F}_\alpha^{\text{ext}} \cdot d\boldsymbol{r}_\alpha$$

Inerties des corps simples :

Parallélépipède : Largeur en x : a, profondeur en y : b, et hauteur en z : c

$$\begin{aligned} I_{xx} &= \frac{1}{12}\,m\,(b^2+c^2) \\ I_{yy} &= \frac{1}{12}\,m\,(a^2+c^2) \\ I_{zz} &= \frac{1}{12}\,m\,(a^2+b^2) \end{aligned}$$

Cylindre : rayon R et longueur L

$$\begin{aligned} I_\parallel &= \frac{1}{2}\,m\,R^2 \\ I_\perp &= \frac{1}{4}\,m\,R^2 + \frac{1}{12}\,m\,L^2 \end{aligned}$$

Sphère creuse :

$$I = \frac{2}{3} m\, R^2$$

Boule pleine :

$$I = \frac{2}{5} m\, R^2$$

Cône plein (axes fixés au sommet, hauteur h, rayon de la base R) :

$$z_G = \frac{3h}{4}$$

$$\begin{aligned} I_{\parallel} &= \frac{3}{10}\, m\, R^2 \\ I_{\perp} &= \frac{3}{5} m \left(\frac{R^2}{4} + h^2 \right) \end{aligned}$$

Cône creux (axes fixés au sommet, hauteur h, rayon de la bse R) :

$$z_G = \frac{2h}{3}$$

$$\begin{aligned} I_{\parallel} &= \frac{1}{2} m\, R^2 \\ I_{\perp} &= \frac{1}{4} m\, R^2 + \frac{1}{2} m h^2 \end{aligned}$$

Tige mince de longeur L, axes sur le centre de masse au milieu de la tige

$$\frac{1}{12}\, m\, L^2$$

Eléments de volume :

— en coordonnées cartésiennes : $dm = \mu\, dx\, dy\, dz$
— en coordonnées cylindriques : $dm = \mu\, \rho\, d\rho\, d\phi\, dz$
— en coordonnées sphériques : $dm = \mu\, r^2\, \sin\theta\, d\phi\, dr\, d\theta$

Rotations

Matrice de rotation, le point tourne, le repère reste fixe	Matrice de rotation, le repère tourne, le point reste fixe
$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$

Formule générale d'une matrice de rotation (le point tourne, le repère reste fixe), angle θ et axe $\hat{n}$:

$$R(\theta) = \cos\theta\, I + (1-\cos\theta)\hat{n}\,\hat{n}^T + \sin\theta[\hat{n}\wedge]$$

avec

$$[\hat{n}\wedge] = \begin{pmatrix} 0 & -n_3 & n_2 \\ n_3 & 0 & -n_1 \\ -n_2 & n_1 & 0 \end{pmatrix}$$

cas particuliers (point tourne, repère fixe) :

$\hat{n} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}^T$	$\hat{n} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}^T$	$\hat{n} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T$
$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Angles d'Euler : $3-1-3$

Première rotation d'angle ψ d'axe x_3
précession

$$\begin{aligned} \boldsymbol{GP} &= x_1\hat{x}_1 + x_2\hat{x}_2 + x_3\hat{x}_3 \\ &= x_1^{'}\hat{x}_1^{'} + x_2^{'}\hat{x}_2^{'} + x_3^{'}\hat{x}_3^{'} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} x_1^{'} \\ x_2^{'} \\ x_3^{'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

Deuxième rotation d'angle θ et d'axe $x_1^{'}$
nutation

$$\begin{aligned} \boldsymbol{GP} &= x_1^{'}\hat{x}_1^{'} + x_2^{'}\hat{x}_2^{'} + x_3^{'}\hat{x}_3^{'} \\ &= x_1^{''}\hat{x}_1^{''} + x_2^{''}\hat{x}_2^{''} + x_3^{''}\hat{x}_3^{''} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} x_1^{''} \\ x_2^{''} \\ x_3^{''} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^{'} \\ x_2^{'} \\ x_3^{'} \end{pmatrix}$$

Troisième rotation d'angle ϕ et d'axe $x_3^{''}$
rotation propre

$$\begin{aligned} \boldsymbol{GP} &= x_1^{''}\hat{x}_1^{''} + x_2^{''}\hat{x}_2^{''} + x_3^{''}\hat{x}_3^{''} \\ &= x_1^{'''}\hat{x}_1^{'''} + x_2^{'''}\hat{x}_2^{'''} + x_3^{'''}\hat{x}_3^{'''} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} x_1^{'''} \\ x_2^{'''} \\ x_3^{'''} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & \sin\phi & 0 \\ -\sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1^{''} \\ x_2^{''} \\ x_3^{''} \end{pmatrix}$$

ω en fonction des vitesses angulaires de angles d'Euler :

$$\begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\psi}\,\sin\theta\,\cos\phi + \dot{\theta}\,\cos\phi \\ \dot{\psi}\,\sin\theta\,\cos\phi - \dot{\theta}\,\sin\phi \\ \dot{\psi}\,\cos\theta + \dot{\phi} \end{pmatrix}$$

Equations d'Euler :

$$\begin{aligned}
I_1\,\dot\omega_1 &= (I_2 - I_3)\,\omega_2\,\omega_3 + M_{G,1}^{\text{ext}} \\
I_2\,\dot\omega_2 &= (I_3 - I_1)\,\omega_1\,\omega_3 + M_{G,2}^{\text{ext}} \\
I_3\,\dot\omega_3 &= (I_1 - I_2)\,\omega_1\,\omega_2 + M_{G,3}^{\text{ext}}
\end{aligned}$$

Oscillations

Oscillateur masse ressort avec amortissement :

$$\ddot x + \frac{b}{m}\dot x + \frac{k}{m}x = 0$$

Pulsation à vide (absence de frottement $b = 0$)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Facteur d'amortissement :

$$\gamma = \frac{b}{2m}$$

Pulsation de la solution homogène :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m}} = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$$

Solution homogène :

1. $\gamma > \omega_0$:
$$x_h = C_1\,e^{-(\gamma+\sqrt{\gamma^2-\omega_0^2})t} + C_2\,e^{-(\gamma-\sqrt{\gamma^2-\omega_0^2})t}$$
2. $\gamma = \omega_0$:
$$x_h = (C_1 + C_2\,t)e^{-\gamma t}$$
3. $\gamma < \omega_0$:
$$x_h = e^{-\gamma t}\left(A\cos(\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}t) + B\sin(\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}t)\right)$$

Oscillateur forcé (amorti et forcé) :

$$\ddot x + \frac{b}{m}\dot x + \frac{k}{m}x = A\sin(\omega t)$$

Solution particulière :

$$x_p = \frac{A}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2}\left((\omega_0^2 - \omega^2)\sin(\omega t) - 2\gamma\omega\cos(\omega t)\right)$$

Résonance :

$$\omega_r = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{2m^2}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}$$

Battements :

$$
\begin{aligned}
x(t) &= B(A\sin(\omega_1 t) + \sin(\omega_2 t)) \\
&= B(1-A)\sin\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t\right)\cos\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right) + B(1+A)\cos\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t\right)\sin\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right)
\end{aligned}
$$

Forces centrales, frottements

Forces centrales :

loi des aires :

$$C = r^2\,\dot{\theta} = \text{constante}$$

Binet :

$$a_r = -\frac{C^2}{r^2}\left[\frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{1}{r}\right) + \frac{1}{r}\right]$$

Conique paramétrique :

$$\frac{p}{r} = (1 + e\,\cos\theta)$$

avec $p \triangleq d$. Pour le cercle $e = 0$, $d = +\infty$ et $p = r$ l'équation paramétrique dégénère. Pour tous les autres cas, ellipse, parabole et hyperbole, Binet et l'équation paramétrique peuvent être utilisées.

Gravitation :

$$\chi = GM = C^2\frac{a}{b^2}$$

a et b sont les paramètres cartésiens de l'ellipse (demi grand axe a, demi petit axe b).

Loi de Kepler (conséquence de la loi des aires, demi grand axe a, demi petit axe b)) :

$$C = \frac{2S}{T} = \frac{2\pi ab}{T}$$

Troisième loi de Kepler (demi grand axe a, période T) :

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Electrostatique et force centrale :

$$\chi = \frac{qQ}{m}\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Accélération radiale (ellipse, hyperbole, parabole) :

$$a_r = \pm\chi\frac{1}{r^2}$$

$$p = \frac{C^2}{|\chi|}$$

Potentiel de gravitation :

$$V = -\frac{G\,M\,m}{r}$$

Potentiel effectif :

$$V_{\text{eff}} = \frac{1}{2}m\frac{C^2}{r^2} - GmM\frac{1}{r}$$

- $V_{\text{eff}} > 0 \Rightarrow$ hyperbole
- $V_{\text{eff}} = 0 \Rightarrow$ parabole
- $0 > V_{\text{eff}} > -\frac{G^2mM^2}{2C^2} \Rightarrow$ ellipse.

Cercle : $r = \frac{C^2}{GM}$

Frottements :

Frottement visqueux (basse vitesse) :

$$\boldsymbol{F}_{\text{fr}} = -k\eta\,\hat{v}$$

Frottement visqueux (haute vitesse) :

$$\boldsymbol{F}_{\text{fr}} = -C_x\,\eta\,\frac{1}{2}\,S\,\|v\|^2\,\hat{v}$$

Frottement statique sec :

$$\|\boldsymbol{F}_{\text{fr}}\| \leq \mu_c\,\|\boldsymbol{N}\|$$

Frottement sec cinétique :

$$\boldsymbol{F}_{\text{fr}} = -\mu_c\,\|\boldsymbol{N}\|\,\hat{v}$$

Lagrange

Lagrangien :

$$\mathcal{L} = T - V$$

Conservateur :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{q}_i}\right) - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial q_i} = 0 \qquad i = 1,\dots n$$

Non conservateur :

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{q}_i}\right) - \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial q_i} = F_{q_i} \qquad i = 1,\dots n$$

Coordonnées cyclique q :

$$\frac{\partial\mathcal{L}}{\partial q} = 0 \Rightarrow \frac{\partial\mathcal{L}}{\partial\dot{q}_i} = \text{constante}$$

Travail et force généralisée

$$\delta W = \sum_{i=1}^{n} F_{q_i}\,\delta q_i$$

Puissance

$$\begin{aligned} P_{\text{inst}} &= \boldsymbol{F} \bullet \boldsymbol{v} && \text{point matériel} \\ P_{\text{inst}} &= \boldsymbol{M} \bullet \boldsymbol{\omega} && \text{solide avec un moment de force} \end{aligned}$$

Puissance instantanée et force généralisée

$$P_{\text{inst}} = \frac{\delta W}{\delta t} = \sum_{i=1}^{n} F_{q_i} \frac{\delta q}{\delta t} = \sum_{i=1}^{n} F_{q_i} \dot{q}_i$$

Puissance et énergie

$$W = \int_{t_1}^{t_2} \boldsymbol{F}(\tau) \bullet \boldsymbol{v}(\tau) d\tau \qquad P = \frac{dW}{dt}$$

Trigonométrie

$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$$
$$\theta = \frac{s}{R}$$
$$\sin(a \pm b) = \sin a \, \cos b \, \pm \, \sin b \, \cos a$$
$$\cos(a \pm b) = \cos a \, \cos b \, \mp \, \sin a \, \sin b$$
$$\tan(a \pm b) = \frac{\tan a \pm \tan b}{1 \mp \tan a \, \tan b}$$

$$\cos a \, \cos b = \frac{1}{2}\left[\cos(a-b) + \cos(a+b)\right]$$
$$\sin a \, \sin b = \frac{1}{2}\left[\cos(a-b) - \cos(a+b)\right]$$
$$\sin a \, \cos b = \frac{1}{2}\left[\sin(a+b) + \sin(a-b)\right]$$
$$\sin^2\theta = \frac{1-\cos(2\theta)}{2} \qquad \cos^2\theta = \frac{1+\cos(2\theta)}{2}$$

Produits

Produit mixte :

$$\boldsymbol{a} \bullet (\boldsymbol{b} \wedge \boldsymbol{c}) = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix}$$

Produit triple :

$$\boldsymbol{a} \wedge (\boldsymbol{b} \wedge \boldsymbol{c}) = (\boldsymbol{a} \bullet \boldsymbol{c})\, \boldsymbol{b} - (\boldsymbol{a} \bullet \boldsymbol{b})\, \boldsymbol{c}$$

Potentiels

Gravifique terrestre (labo) : $V = mgh$

Ressort linéaire : $V = \frac{1}{2}k(l - l_0)^2$

Ressort spiral : $V = \frac{1}{2}k_\theta(\theta - \theta_0)^2$

Gravifique planète (potentiel de gravitation) : $V = -\frac{GMm}{r}$